

Klimatische und menschliche Risikofaktoren für Waldökosysteme

Ana Bastos

Zusammenfassung

Die terrestrische Biosphäre spielt eine zentrale Rolle im Klimasystem und nimmt jährlich rund 25–30 % der menschlichen CO₂-Emissionen auf. Ohne diese Kohlenstoffsенke läge die atmosphärische CO₂-Konzentration bereits über 500 ppm. Allerdings schwächen sich die Kohlenstoffsенken in Deutschland und Europa, insbesondere in Wäldern, derzeit ab, wodurch die Klimaschutzziele im Landnutzungssektor zunehmend gefährdet sind. Klimarisiken für Waldökosysteme entstehen durch das Zusammenwirken von Klimaveränderungen und menschlichen Eingriffen. Steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster sowie häufigere Hitze- und Dürreereignisse setzen Ökosysteme Bedingungen aus, an die sie nur begrenzt angepasst sind. Gleichzeitig können intensive Holznutzung und andere Eingriffe die Vulnerabilität der Wälder erhöhen. In Europa gehen zunehmend extreme Wetterereignisse mit einer intensiveren Waldnutzung einher, wobei sich diese beiden Faktoren gegenseitig verstärken und zu einer Verringerung der Kohlenstoffbindung in Wäldern beitragen. Insbesondere seltene Extremereignisse können Kaskadeneffekte auslösen, z. B. in Verbindung mit Bränden oder Schädlingsbefall, und Wälder von CO₂-Senken in temporäre CO₂-Quellen verwandeln. Für die kommenden Dekaden werden erhebliche Risiken für Waldökosysteme prognostiziert. Eine weitere Abschwächung der Kohlenstoffsенken könnte das verbleibende CO₂-Budget verringern und die globale Erwärmung verstärken. Daher sind sowohl eine klima- und biodiversitätsorientierte Waldbewirtschaftung als auch eine rasche Reduzierung der Treibhausgasemissionen erforderlich.

Summary

Climatic and human risks for forest ecosystems

The terrestrial biosphere plays a central role in the climate system, taking up approximately 25–30 % of human CO₂ emissions each year. Without this carbon sink, atmospheric CO₂ concentrations would already exceed 500 ppm. However, carbon sinks in Germany and across Europe, particularly in forests, are weakening, placing increasing pressure on climate mitigation targets for the land-use sector. Climate risks for forest ecosystems arise from the interaction between climate change and human activities. Rising temperatures, changing precipitation patterns, and more frequent heatwaves and droughts are exposing ecosystems to conditions to which they are only partially adapted. At the same time, intensive timber harvesting and other human interventions can increase forest vulnerability to climate change. Across Europe, increasingly frequent extreme weather events coincide with an intensification of forest use. These factors can reinforce one another, contributing to a decline in carbon sequestration. Rare extreme events may further trigger cascading impacts involving for example wildfires or insect outbreaks, temporarily transforming forests from CO₂ sinks into sources of emissions. Significant risks are projected for forest ecosystems in the coming decades. A further weakening of carbon sinks could reduce the remaining global carbon budget and amplify global warming. Therefore, both climate- and biodiversity-oriented forest management and a rapid reduction in greenhouse gas emissions are urgently needed.

Der Beitrag basiert auf einem von der Autorin überarbeiteten Transkript ihres Vortrags vom 24. März 2026 in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

✉ Prof. Dr. Ana Bastos, Universität Leipzig, Institut für Erdsystemwissenschaft und Fernerkundung, Talstraße 35, 04103 Leipzig; ana.bastos@uni-leipzig.de

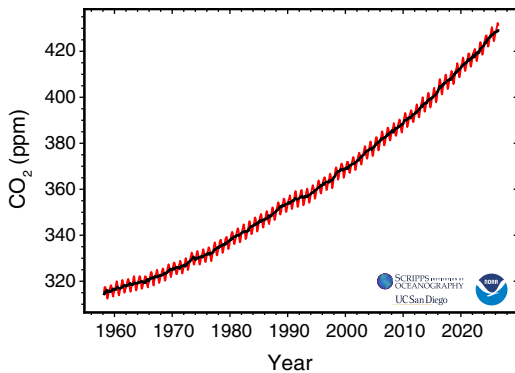


Abb. 1. CO₂-Konzentration (in parts per million, ppm) in der Atmosphäre am Mauna Loa Observatory, Hawaii, 2001–2026. Rot: Monatsmittelwerte (basierend auf Tagesmittelwerten, die wiederum aus Stundenmittelwerten basieren), schwarz: geglättet über den saisonalen Jahreszyklus. – Scripps Institute of Oceanography, NOAA Global Monitoring Laboratory, <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> [abgerufen 01.04.2026].

Die Rolle der Biosphäre im Erdsystem

Direkte Messungen der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre seit Ende der 1950er Jahre zeigen, dass das CO₂ stetig ansteigt (Abb. 1, schwarze Linie), v. a. aufgrund der Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Auf saisonaler Skala zeigt sich jedoch ein Auf und Ab (rote Kurve), das mit Satellitendaten der Erde im Jahresverlauf übereinstimmt.¹ Die Pflanzen auf der Nordhalbkugel nehmen im Frühjahr und im Sommer CO₂ aus der Atmosphäre auf und geben den größten Teil davon im Herbst wieder ab, wenn die Vegetation in eine Ruhephase übergeht. Da die Landfläche auf der Nordhalbkugel größer ist, spiegelt sich dies in einem Rückgang der globalen CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von Juni bis September und einem Anstieg von Oktober bis Mai wider. Nicht alles jedoch, was aufgenommen wird, wird auch wieder freigesetzt. Die terrestrische Biosphäre gleicht jährlich etwa 25–30 % der menschlichen CO₂-Emissionen aus, indem sie den Kohlenstoff speichert (Friedlingstein et al. 2025).

¹ Visualisierung z. B. unter NASA Scientific Visualization Studio: Green Planet, released Tuesday, September 22, 2015; <https://svs.gsfc.nasa.gov/11933/> [abgerufen 01.04.2026].

Datensätze aus verschiedenen Quellen (u. a. von Eisbohrkernen) zeigen übereinstimmend, dass die Kohlenstoffaufnahme durch die terrestrische Biosphäre seit 1900 gestiegen ist (Joos et al. 1999). Ohne diese zusätzliche Sequestrierung hätte die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre bereits einen Wert von 500 ppm überschritten (Ruehr et al. 2023). Die Biosphäre funktioniert daher als eine Art Puffer gegenüber dem Klimawandel. In den letzten 10–20 Jahren sind jedoch Diskussionen darüber aufgekommen, ob diese CO₂-Senke bald ihre Sättigungsgrenze erreichen wird (Ospina et al. 2026).

Nicht nur in Deutschland (vgl. Beitrag Bolte 2026 in diesem Band), sondern auch europaweit ist ein Rückgang der CO₂-Senken zu beobachten, der v. a. auf eine verminderte Senkenfunktion des Waldes zurückgeht (Bastos & San-Miguel 2024, EEA 2025a, Abb. 2). Die Tendenz bewegt sich damit weg von dem Ziel eines Netto-Abbaus von 310 Mio. t CO₂-Äquivalenten aus dem LULUCF-Sektor (Landnutzung, Landnutzungswandel und Forstwirtschaft; Land Use, Land-Use Change and Forestry) bis 2030 (EU 2018). Entsprechend schreibt die Europäische Umweltagentur EEA: »Den Prognosen der Mitgliedstaaten zufolge reichen die derzeit umgesetzten und geplanten Maßnahmen nicht aus, um das Ziel zu erreichen; daher sind erneute Anstrengungen und weitere politische Maßnahmen erforderlich, um die Kohlenstoffsенке Europas zu stärken« (EEA 2025b).

Risiken durch klimatische und menschliche Faktoren

Laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, »Weltklimarat«) bedeutet Risiko das »Potenzial für nachteilige Folgen für menschliche oder ökologische Systeme« (Reisinger et al. 2020). Dies lässt sich anhand der langfristigen Verteilung von Klimavariablen (»Klimatreiber«) verdeutlichen, beispielsweise der Temperatur oder des Niederschlags. Ökosysteme sind grundsätzlich gut an die langfristige Schwankungsbreite dieser Variablen angepasst, könnten jedoch gegenüber Extremen an beiden Enden (z. B. Kälte oder Hitze) anfällig sein. In Deutschland haben wir selten Temperaturen über 35 Grad und/oder Trockenheit über einen längeren Zeitraum, d. h., die Wahrscheinlichkeit dieser Hitze- und Dürreereignisse ist niedrig. Unsere Ökosysteme haben sich in einem gemäßigten

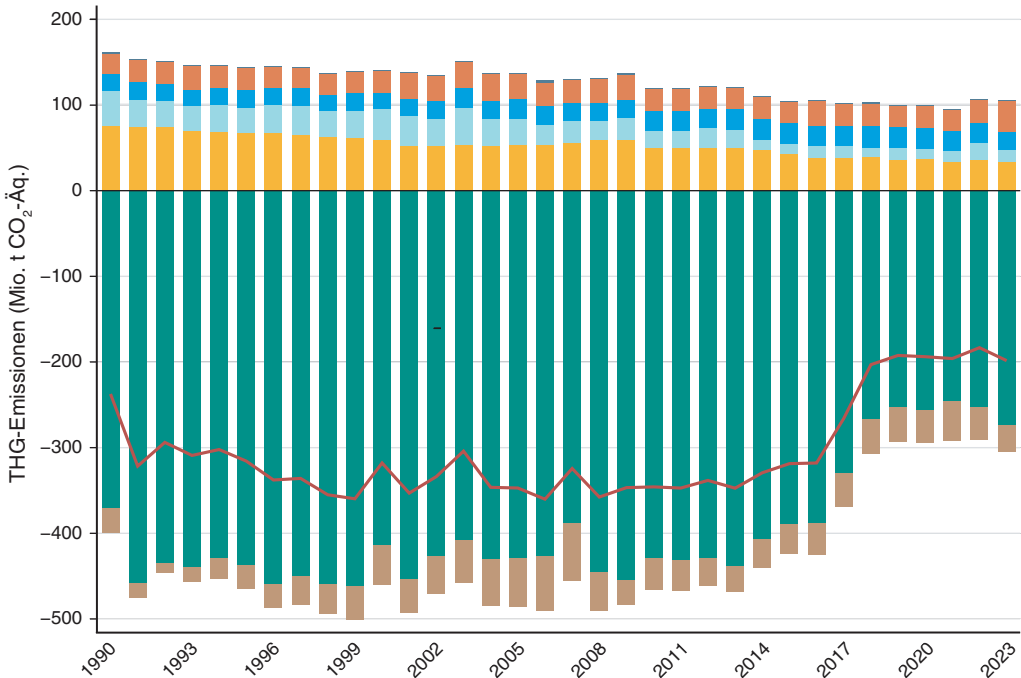


Abb. 2. Treibhausgasemissionen (in Millionen Tonnen CO₂-Äq.) in Europa (EU-27) aus dem LULUCF-Sektor 1990–2023; ■ Holzprodukte, ■ Waldflächen, ■ Ackerflächen, ■ Grünland, ■ Feuchtgebiete, ■ Siedlungen, ■ sonstige Flächen, — Summe LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry). – EEA (2025a).

Klima entwickelt, wie es für die mittleren Breiten charakteristisch ist. Der Klimawandel kann zu einer Verschiebung der Durchschnittswerte einer bestimmten Variablen führen (beispielsweise hin zu höheren Temperaturen und/oder geringeren Niederschlagsmengen) oder deren Variabilität verändern (z. B. häufigeres Auftreten von Extremereignissen). Diese Verschiebung bedeutet, dass Ökosysteme möglicherweise häufiger von Klimabedingungen betroffen sind, die außerhalb des Bereichs liegen, an den sie gut angepasst sind, d. h. gegenüber denen sie anfälliger sind. Insbesondere die Extremereignisse werden dadurch noch gefährlicher (Bastos et al. 2023).

Die Definition des IPCC berücksichtigt auch menschliches Handeln: »Im Zusammenhang mit dem Klimawandel können Risiken sowohl aus den potenziellen Auswirkungen des Klimawandels als auch aus den Reaktionen des Menschen auf den Klimawandel entstehen« (Reisinger et al. 2020). Ändert sich z. B. die Vulnerabilität eines Ökosystems – beispielsweise durch die Pflanzung

von Arten an den Rändern ihres Klimaraums, an den sie gut angepasst sind –, so kann dies zu einer höheren Anfälligkeit führen, selbst ohne Klimawandel (Bastos et al. 2023). Als Beispiel für Deutschland ist hier der Anbau von Monokulturen in Gebieten, an die die betroffene Pflanzen- bzw. Baumart nicht ideal angepasst ist, zu nennen.

Risiken für Europäische Waldökosysteme

In Europa beobachten wir tatsächlich eine Kombination aus beiden Faktoren. Einerseits nehmen Extremereignisse zu, insbesondere Hitze und Dürre (Seneviratne et al. 2021), andererseits haben einige der Maßnahmen, die zur Förderung der grünen Wirtschaft eingeführt wurden (Green Deal, EC 2026), auch zu einem Anstieg der Holzernte in vielen Ländern Europas beigetragen (Migliavacca et al. 2025). Wenn diese Raten zu hoch sind und Hitze- und Dürreperioden auftreten, beginnt sich der Zustand der Wälder zu ver-

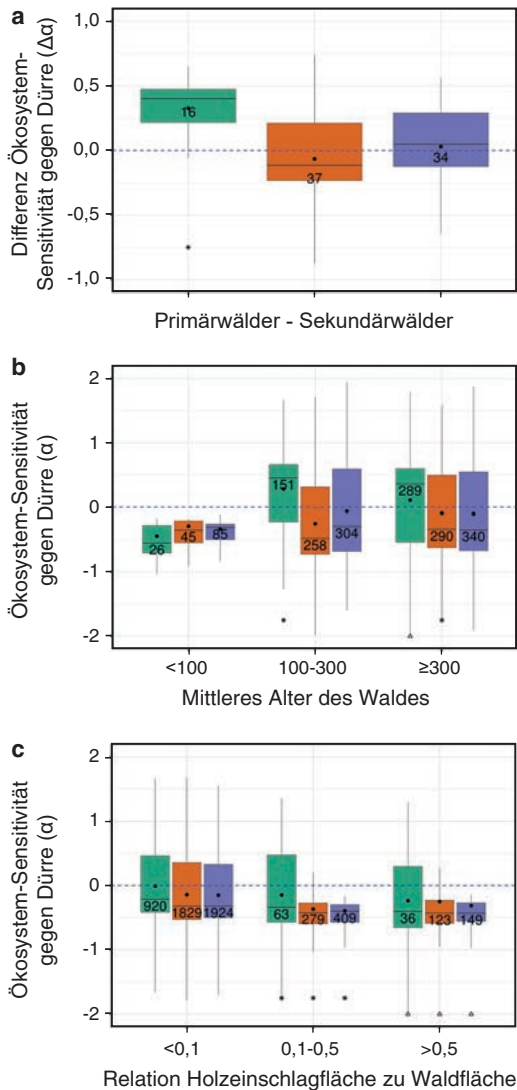


Abb. 3. Resistenz von Ökosystemen (als Koeffizient α ; positives α bedeutet ein besseres Wachstum während einer Trockenperiode) gegenüber Dürren für (a) Waldbewirtschaftung unter ähnlichen klimatischen Hintergrundbedingungen sowie für verschiedene Stufen von (b) Walddalter im tropischen primären immergrünen Laubwald und (c) Flächenanteil des Holzeinschlaggebiets, nach Satellitendatenauswertungen 2011–2020 (■ VOD, Vegetation Optical Depth; ■ EVI, Enhanced Vegetation Index; ■ kNDVI, Kernel Normalized Difference Vegetation Index). Sterne (a): Median > 0 (Signifikanzniveau 0,05); Sterne (b,c): Median dieser Kategorie $>$ Median der vorherigen Kategorie, Dreiecke: Median dieser Kategorie $>$ Median der ersten Kategorie (Signifikanzniveau 0,05). Die Zahl in jeder Box entspricht der Anzahl der Klassen (Bins)

schlechtern. Zu beachten ist, dass die Änderung der Holzernteraten teilweise mit Änderungen in der Politik (steigender Druck auf Holzprodukte in der Bioökonomie) und mit Klimaschutzmaßnahmen zu tun haben. Auf diese Weise können Entscheidungen im Bereich des Klimaschutzes neben ihren Vorteilen auch nachteilige Folgen für Waldökosysteme haben (Bastos & San-Miguel 2024, Migliavacca et al. 2025).

Die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten und klimatischer Faktoren lassen sich dabei nicht einfach addieren, sondern können sich gegenseitig verstärken. So ist z. B. die Widerstandsfähigkeit von globalen Urwäldern (Primärwäldern) gegenüber Dürreereignissen im Vergleich zu Sekundärwäldern aufgrund verschiedener physikalischer und ökologischer (z. B. Alter des Waldes) Gründe deutlich höher, d. h. ihre Vulnerabilität ist geringer (Abb. 3a, b, Xiao et al. 2023). Wälder mit höheren Einschlagraten sind zudem anfälliger für Dürre (Abb. 3c, Xiao et al. 2023).

Seltene Extremereignisse sind besonders wichtig

Seltene Extremereignisse, die im Zuge des Klimawandels teilweise schon jetzt vermehrt auftreten, verstärken alle diese Risiken und können komplexe Störereignisse mit Kettenreaktionen auslösen, wie beispielsweise Kombinationen aus Hitze, Dürren und Bränden oder aus Trockenheit und Insektenbefall, die zu großflächigem Baumsterben führen. Da Extremereignisse zum Teil unvorhersehbar sind und sehr komplexe Kaskadeneffekte bewirken, sind sie von besonderer Bedeutung.

So hat eine Abfolge von zwei trockenen und heißen Sommern in den Jahren 2018 und 2019 in Verbindung mit Insektenausbrüchen dazu geführt, dass sich die Wälder in Tschechien (und anderer Länder) von einer stabilen Senke in eine Quelle für CO_2 -Emissionen in die Atmosphäre gewandelt haben (Abb. 4). Dieses einzelne, seltene Ereignis hat die Klimaschutzziele Tschechiens aus der Bahn geworfen, was zumindest kurzfristig nicht ausgeglichen werden kann.

oder Pixel in dieser Kategorie. Es wurden nur Pixel ausgewählt, bei denen sich der dominante Primär- und Sekundärwald und der tropische primäre immergrüne Laubwald im Zeitraum 2011–2020 nicht verändert haben (weitere Angaben und Methodik s. Xiao et al. 2023). – Entnommen aus © Xiao et al. (2023).

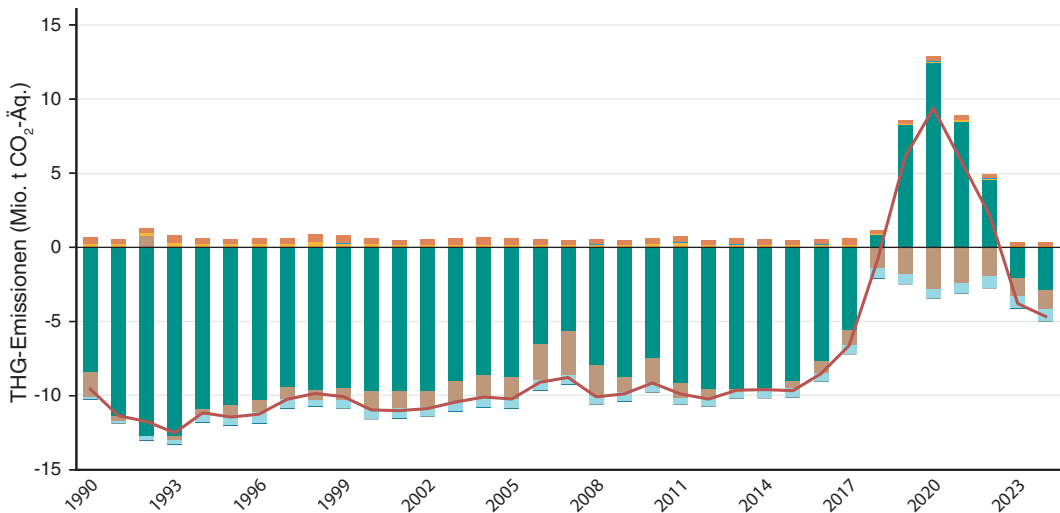


Abb. 4. Treibhausgasemissionen (in Millionen Tonnen CO₂-Äq.) in der Tschechischen Republik aus dem LULUCF-Sektor 1990–2024; Grünland, Holzprodukte, Waldflächen, Ackerflächen, Summe LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry). – Daten: European Environment Agency, 2026.

Künftige Klimarisiken für Waldökosysteme

Um die künftigen Klimarisiken für Waldökosysteme abzuschätzen, wurde im Rahmen der ersten europäischen Klimarisikobewertung (EEA 2024) versucht, die dringlichsten Risiken für europäische Ökosysteme unter gleichzeitiger Berücksichtigung der relevanten klimatischen, menschlichen und ökologischen Faktoren sowie deren Wechselwirkungen zusammenzufassen (Abb. 5, Bastos & San-Miguel 2024). Diese erste europäische Klimarisikobewertung ist komplex und leider verfügen wir nicht für alle der beteiligten Elemente über verlässliche Informationen. Zu den nicht klimatischen Risikofaktoren gehören z.B. die Interaktion der Nährstoffe am Boden mit den Kohlenstoffsenken im Wald sowie die Zunahme brennbaren Materials (»fuel load«) in Form von Totholz und Reisig in den Wäldern aufgrund erhöhter Baum mortalität, was wiederum zu intensiveren Waldbränden führen kann.

Die Abbildung zeigt auch, wie wichtig es ist, interdisziplinär zu arbeiten, um die Werte für alle in das Schema eingehenden Faktoren und ihre Interaktionen so gut wie möglich anhand von Daten und verschiedenen Modellen einschätzen zu können.

Politische Folgen

Obwohl eine Reihe von Methoden zur bestmöglichen Einschätzung der Ergebnisse zur Verfügung stehen, gibt es viele Unsicherheiten, die sich aus den Wechselwirkungen zwischen Extremereignissen (deren künftiges Auftreten selbst noch mit einer Unsicherheit behaftet ist) und Waldstörungen ergeben. Unsicher ist z.B. der Bodenbereich und die Frage, wie der Nährstoffkreislauf mit dem Kohlenstoffkreislauf interagieren wird. Alle Unsicherheiten in Bezug auf Kohlenstoffsenken, insbesondere auf Waldflächen, zeigen jedoch, dass die CO₂-Senke der Biosphäre durch Klimaschutzmaßnahmen wahrscheinlich schwächer ausfallen wird als derzeit erwartet (Bustamante et al. 2023). Damit dürfte das verbleibende Kohlenstoffbudget deutlich geringer ausfallen als erwartet. Die Folge ist, dass die globale Erwärmung, insbesondere bei Szenarien mit hohen Emissionen, möglicherweise stärker ausfallen könnte als erwartet (Abb. 6, Bustamante et al. 2023). Dies hat wiederum schwere Folgen nicht nur für die Wälder, sondern auch für die menschlichen Gesellschaften. Beispiellose Extremereignisse könnten Wälder über ihre Belastungsgrenzen hinaus belasten, mit gravierenden Auswirkungen auf die Arten-

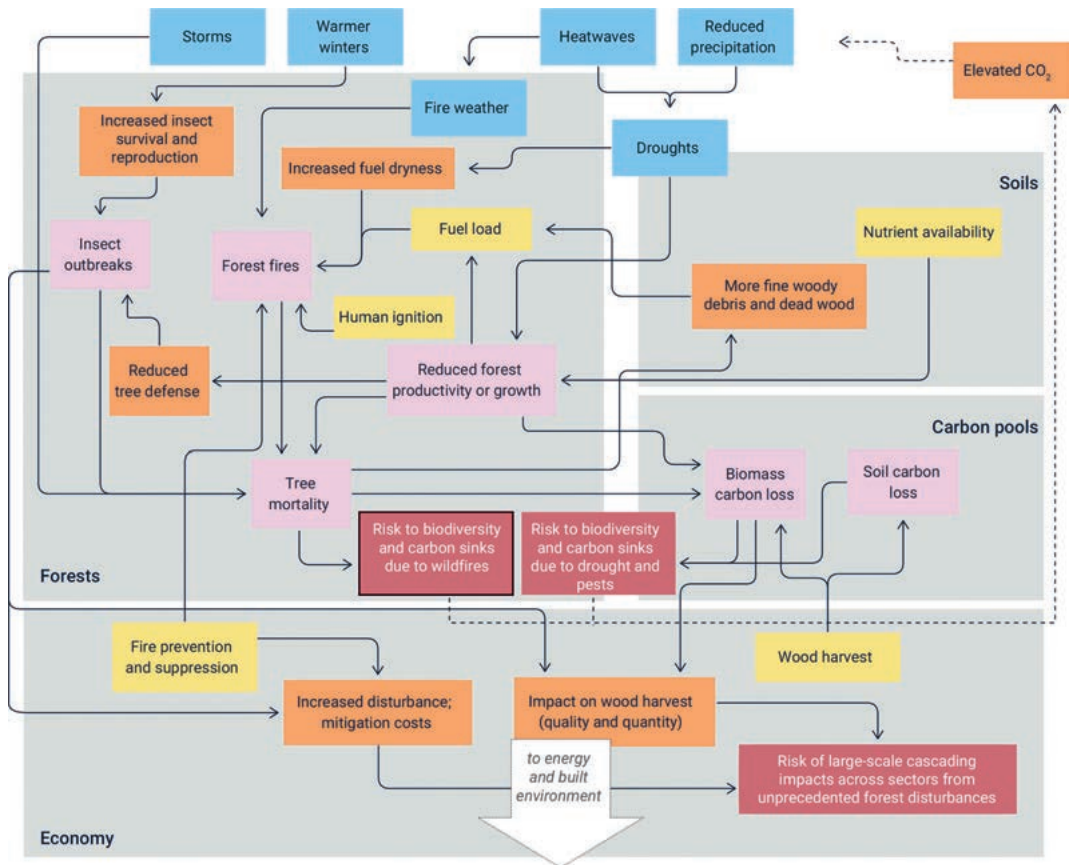


Abb. 5. Risiken für Waldökosysteme in Europa: Wirkungsnetz für ausgewählte ■ klimatische Faktoren, ■ nicht klimatische Risikotreiber, ■ direkte und indirekte Einflussgrößen, ■ Faktoren, die zu größeren Klimarisiken führen, und ■ größere Klimarisiken, sowie deren Einfluss auf Waldschadensereignisse, forstliche Kohlenstoffspeicher und die Rückkoppelung mit dem Klima. Zusätzlich sind die relevantesten und direktesten Auswirkungen auf Wirtschaftssektoren eingetragen. – Bastos & San Miguel (2024). © European Environment Agency, 2024.

vielfalt, die Holzproduktion und viele andere Ökosystemleistungen der Wälder.

Dies alles zeigt, dass es dringend geboten ist, das Vorsorgeprinzip auch im Waldschutz anzuwenden und alles zu tun, um diese Risiken und die daraus zu erwartenden Kosten zu vermeiden.

Dazu können wir auf zwei Arten handeln (Migliavacca et al. 2025):

- Maßnahmen im Bereich der Waldbewirtschaftung zeigen unmittelbare Wirkung und können die Widerstandsfähigkeit der Wälder stärken. Zur Veränderung von Holzernte und Waldmanagement bieten sich als Maßnah-

men an: biodiversitätsorientierte Aufforstung, Reduzierung der Holzernteraten, Verlängerung der Umtriebszeit, Erhöhung der Altersklassenvielfalt der Bestände, Verbesserung des Totholzmanagements sowie erhöhte Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten.

- Langfristig wirksame Treiber wie der Klimawandel und Extremereignisse sind schwieriger zu steuern. Lösungsansätze hierfür sind: Verständnis der Auswirkungen klimatischer Extreme auf Wälder, Verständnis der Rolle der Biodiversität als Puffer gegenüber Klimaextremen, Quantifizierung der Wechselwirkungen zwischen Klimaextremen und Holznutzung, Erhöhung der Waldresilienz (Altersdiversität

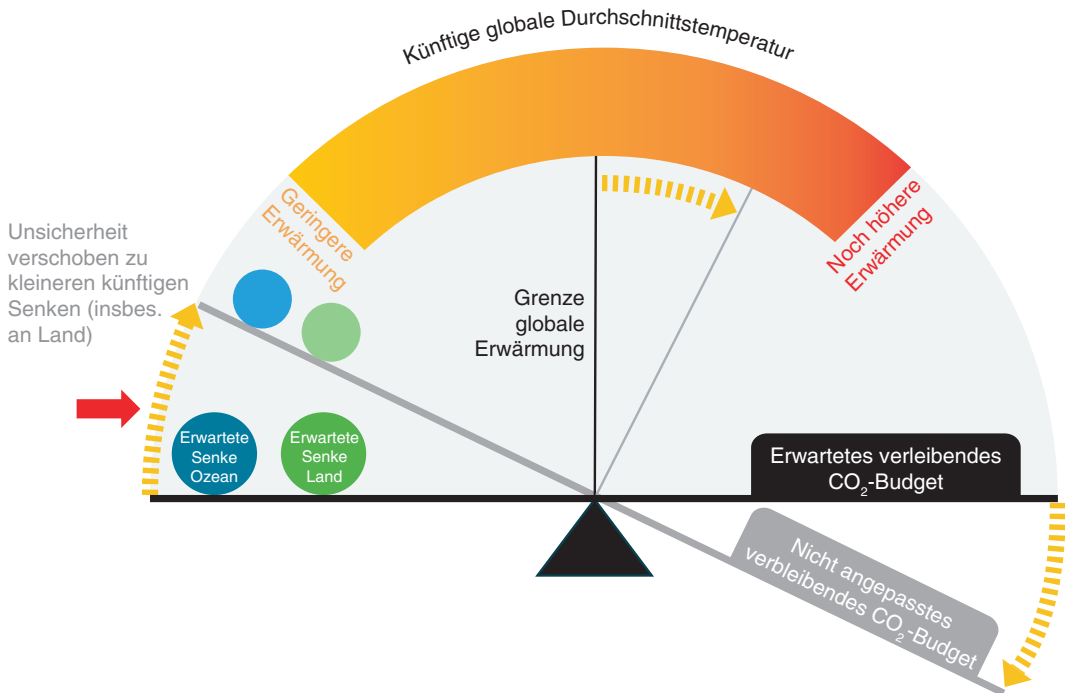


Abb. 6. Künftige Kohlenstoffsinken und erwartetes bzw. mögliches verbleibendes Kohlenstoffbudget (kumulative anthropogene Netto-Emissionen, um ein bestimmtes Klimaziel zu erreichen). Gelbe Pfeile: Verschiebung der Unsicherheiten in Richtung kleinerer zukünftiger Senken, roter Pfeil: Anstieg der künftigen globalen Temperatur bei Eintritt der Verschiebung. – Nach © Bustamante et al. (2023), übersetzt.

und klimaresiliente Baumarten) sowie eventuell assistierte Baumartenmigration.

Auch wenn die kurzfristigen, steuerbaren Maßnahmen wichtig sind, benötigen wir dringend einen effektiveren Klimaschutz und eine rasche Senkung der CO₂-Emissionen, um Kettenreaktionen zu vermeiden. Jeder Anstieg der globalen Temperatur um 0,1 Grad, den wir verhindern können, macht einen großen Unterschied. Dazu kommt, dass Klimaschutzmaßnahmen die Wahrscheinlichkeit von »Wildcard«-Ereignissen verringern, den Naturschutz fördern und die Anpassungskosten senken.

Danksagung

Die Autorin wurde durch die Europäische Union gefördert (ERC StG, ForExD, Fördervereinbarung Nr. 101039567). Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind jedoch ausschließlich die der Autorin und spiegeln nicht unbedingt die der Europäischen Union oder des Europäischen Forschungsrates wider. Weder die Europäische Union noch die Bewilligungsbehörde können dafür haftbar gemacht werden.

Literatur

- Bastos, A. & J. San-Miguel. 2024. Chapter 13: Forest disturbances and carbon sinks. – In: EEA (European Environment Agency; ed.): European Climate Risk Assessment, EEA Report 01/2024. Publications Office of the European Union, Luxembourg: 178–194; <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment/european-climate-risk-assessment-report/@download/file>
- Bastos, A., S. Sippel, D. Frank, M. Mahecha, S. Zaehle, J. Zscheischler & M. Reichstein. 2023. A joint framework for studying compound ecoclimatic events. – *Nature Reviews Earth & Environment*, 4: 330–350. DOI: [10.1038/s43017-023-00410-3](https://doi.org/10.1038/s43017-023-00410-3)
- Bolte, A. 2026. Waldzustand in Deutschland – Ergebnisse der nationalen Walderhebungen. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Wälder: Zustand, Gefährdung und Management. Pfeil, Günding: 25–36.
- Bustamante, M., J. Roy, D. Ospina, P. Achakulwisut, A. Aggarwal, A. Bastos, W. Broadgate, J. G. Canadell, E. R. Carr, D. Chen, ... & J. Zscheischler. 2023. Ten new insights in climate science 2023. – *Global Sustainability*, 7: e19. DOI: [10.1017/sus.2023.25](https://doi.org/10.1017/sus.2023.25)

- EC. 2026. Der europäische Grüne Deal. Erster klimaneutraler Kontinent werden. – Europäische Kommission (EC), Generaldirektion Kommunikation; https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de [abgerufen 01.04.2026]
- EEA 2024. European Climate Risk Assessment. Executive summary. – European Environment Agency (EEA), Report 01/2024, 36 S.; <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment> [abgerufen 01.04.2026]
- EEA. 2025a. Europe's environment 2025. 2.4 Carbon dioxide removal from the atmosphere. – Published 29 Sept 2025. – European Environment Agency (EEA); <https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025/thematic-briefings/climate-change/carbon-dioxide-removal> [abgerufen 01.04.2026]
- EEA. 2025b. 8th Environment Action Programme. Greenhouse gas emissions from land use, land use change and forestry in Europa. – European Environment Agency (EEA); <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/monitoring-progress-towards-8th-eap-objectives>, Additional files: 02-Greenhouse gas emissions from land use [abgerufen 01.04.2026]
- EU. 2018. Verordnung (EU) 2018/841 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Einbeziehung der Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft in den Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 und des Beschlusses Nr. 529/2013/EU. – Amtsblatt der Europäischen Union, L 156/1; <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/841/oj/deu> [abgerufen 01.04.2026]
- Friedlingstein, P., M. O'Sullivan, M. W. Jones, R. M. Andrew, J. Hauck, P. Landschützer, C. Le Quéré, H. Li, I. T. Lujikx, A. Olsen, G. P. Peters, W. Peters, J. Pongratz, C. Schwingshackl, S. Sitch, et al. 2025. Global Carbon Budget 2024. – Earth Systems Science Data, 17: 965–1039. DOI: [10.5194/essd-17-965-2025](https://doi.org/10.5194/essd-17-965-2025)
- Joos, F., R. Meyer, M. Bruno & M. Leuenberger. 1999. The variability in the carbon sinks as reconstructed for the last 1000 years. – Geophysical Research Letters, 26: 1437–1440. DOI: [10.1029/1999GL900250](https://doi.org/10.1029/1999GL900250)
- Migliavacca, M., G. Grassi, A. Bastos, G. Ceccherini, P. Ciais, G. Janssens-Maenhout, E. Lugato, M. D. Mahecha, K. A. Novick, J. Peñuelas, R. Pilli, M. Reichstein, V. Avitabile, P. S. A. Beck, J. I. Barredo, G. Forzieri, M. Herold, A. Korosuo, N. Mansuy, S. Mubareka, R. Orth, P. Rougieux & A. Cescatti. 2025. Securing the forest carbon sink for the European Union's climate ambition. – Nature, 643(8074): 1203–1213. DOI: [10.1038/s41586-025-08967-3](https://doi.org/10.1038/s41586-025-08967-3)
- Ospina, D., P. Mirazo, R. P. Allan, S. Basnett, A. Bastos, N. Bhattarai, W. Broadgate, D. J. Broekhoff, M. Bustamante, D. Che, Y. Choi, P. Cox, et al. 2026. Ten new insights in climate science 2025. – Global Sustainability, 9: e6. DOI: [10.1017/sus.2025.10043](https://doi.org/10.1017/sus.2025.10043)
- Reisinger, A., M. Howden, C. Vera, M. Garschagen, M. Hurlbert, S. Kreibiehl, K. J. Mach, K. Mintenbeck, B. O'Neill, M. Pathak, R. Pedace, H.-O. Pörtner, E. Poloczanska, M. Rojas, C. J. Sillmann, M. van Aalst, D. Viner, R. Jones, A. C. Ruane & R. Ranasinghe. 2020. The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-working group discussions. – Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 15 S.; https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/02/Risk-guidance-FINAL_15Feb2021.pdf [abgerufen 01.04.2026]
- Ruehr, S., T. F. Keenan, C. Williams, Y. Zhou, X. Lu, A. Bastos, J. G. Canadell, I. C. Prentice, S. Sitch & C. Terra. 2023. Evidence and attribution of the enhanced land carbon sink. – Nature Reviews Earth & Environment, 4: 518–534. DOI: [10.1038/s43017-023-00456-3](https://doi.org/10.1038/s43017-023-00456-3)
- Seneviratne, S. I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Deroczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S. M. Vicente-Serrano, M. Wehner & B. Zhou. 2021. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. – In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu & B. Zhou (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA: 1513–1766. DOI: [10.1017/9781009157896.013](https://doi.org/10.1017/9781009157896.013)
- Xiao, C., S. Zaehle, H. Yang, J.-P. Wigneron, C. Schimmlus & A. Bastos. 2023. Land cover and management effects on ecosystem resistance to drought stress. – Earth System Dynamics, 14: 1211–1237. DOI: [10.5194/esd-14-1211-2023](https://doi.org/10.5194/esd-14-1211-2023)

Diskussion

R. Mosandl: Sie hatten am Ende bei den Maßnahmen in Bezug auf Holzernte und Waldmanagement die Verlängerung der Umtriebszeit genannt. Das ist eine zweischneidige Sache. Wird die Umtriebszeit verlängert, so erhöht sich auch die Gefährdung. Je höher und älter ein Bestand ist, umso anfälliger wird er. Daher geht es aus ökologischen und ökonomischen Gründen darum, die Umtriebszeiten eher abzusenken als sie zu verlängern. Gibt es eine Begründung für die von Ihnen empfohlene Verlängerung der Umtriebszeiten?

A. Bastos: Studien zeigen, dass häufige Ernten zu einer Verringerung der Kohlenstoffspeicherung im Boden führen, insbesondere wenn die Ernterückstände zudem beispielsweise zur Bioenergieerzeugung genutzt werden. Die Idee ist, dass über Streu mehr Kohlenstoff auf dem Boden gespeichert wird bzw. dass der Boden mehr Zeit hat, den Kohlenstoff zu akkumulieren. Ich verstehe Ihr Argument mit der Gefährdung durch Extremereignisse. Das Problem ist dabei aber, dass sich die Wahrscheinlichkeit z.B. für Hitzewellen in den nächsten 30 Jahren stark erhöht hat. So sehr können die Umtriebszeiten gar nicht verkürzt werden, dass der Wald diesem Risiko entkommt.

M. Schaller: In der Liste war auch die Reduzierung der Holzernteraten genannt. Können Sie dazu noch etwas sagen? In der Diskussion zum Vortrag von Herrn Bolte hat Herr Breitsameter eindringlich dafür plädiert, mehr Holz zu nutzen, um die Wälder resilienter gegen den Klimawandel zu machen.²

A. Bastos: Die Maßnahmen beziehen sich auf die Kohlenstoffsinken in ganz Europa. Eine Holzernte könnte zwar zu einer langfristigen Senke beitragen, wenn das Holz zum Beispiel als Bauholz für Gebäude genutzt wird. Aber es gibt viele Holzprodukte, die sehr schnell verbrannt werden. Ich komme aus Portugal, wo die Holzindustrie Bäume überwiegend zur Herstellung

von Papier benutzt. Der im Papier enthaltene Kohlenstoff wird (sofern nicht z. B. in Bibliotheken gelagert) sehr schnell wieder in die Atmosphäre freigesetzt. Werden die Holzernteraten reduziert und die Biomasse nicht sofort entfernt, erhöht sich auch die Kohlenstoffspeicherung auf dem Boden. Aber die Frage hat auch viel damit zu tun, wie wir Holzprodukte nutzen und wann das im Holz gespeicherte CO₂ wieder freigesetzt wird.

M. Schaller: Ich denke, es kommt immer auf die jeweilige Situation an. In Bayern haben wir hohe Fichtenvorräte und wenn der Sturm die Bäume umreißt oder infolge von Stürmen der Borkenkäfer die Flächen kahlmacht und dazu noch Umsetzungen im Boden kommen, die zu verstärkten CO₂-Emissionen führen, dann haben wir nichts gewonnen.

R. Mosandl: Es wird tatsächlich ganz wesentlich darauf ankommen, was man aus dem Holz macht. Wenn es um die kurzfristige energetische Verwertung geht, ist dies womöglich mit einer Reduzierung der CO₂-Speicherleistung verbunden, aber wenn man langfristig Möbel oder gar ein ganzes Haus aus dem Holz macht, wirkt die CO₂-Speicherung natürlich wesentlich weiter. Dieser wichtige Effekt müsste im Grunde auch in die Statistiken einbezogen werden. Bei uns ist es in vielen Fällen tatsächlich so, dass Ernten zur Herstellung langfristiger Holzprodukte eher einen positiven Effekt haben.

A. Bastos: Da stimme ich Ihnen gerne zu. Die Lösungen, die ich vorgestellt habe, beziehen sich auf ganz Europa. Wir wissen aber auch, dass die Lösungen sehr lokal geplant werden müssen, und das haben wir auch in dem Klimarisiko-Assessment³ deutlich gesagt. Eine Lösung, die in

2 Vgl. S. 36, Bolte, A. 2026. Waldzustand in Deutschland – Ergebnisse der nationalen Walderhebungen. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Wälder: Zustand, Gefährdung und Management. Pfeil, Günding: 25–36.

3 Bastos, A. & J. San-Miguel. 2024. Chapter 13: Forest disturbances and carbon sinks. – In: EEA (European Environment Agency; ed.): European Climate Risk Assessment, EEA Report 01/2024. Publications Office of the European Union, Luxembourg: 237–255; <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment/european-climate-risk-assessment-report/@@download/file>.

Bayern funktioniert, kann man nicht in Portugal anwenden, und eine Lösung, die in Portugal funktioniert, nicht in Belgien usw. Das lässt sich beim Waldmanagement nicht machen. Wir müssen daher mehr miteinander sprechen, uns mehr die lokalen Bedingungen ansehen und nach optimalen Lösungen vor Ort suchen. Was wir aber alle zusammen europaweit machen können, ist mehr Klimaschutz und die Reduzierung von fossilen Brennstoffemissionen. Alles andere muss lokal betrachtet werden.

J. Jacob: Ich möchte Sie ermutigen, die Flagge »One doesn't fit for all« in die Europäische Kommission hineinzutragen. Da ist das nach meiner Wahrnehmung noch nicht an allen Stellen zur Gänze verstanden worden.

A. Bastos: Wir haben es zumindest so in unserem Bericht geschrieben und hoffentlich haben die Entscheidungsträger es auch so gelesen.

A. Bolte: Gab es bei der Studie, nach der Primärwälder klimaresilienter sind als Sekundärwälder,⁴ genauere Erkenntnisse, woran das liegt? Liegt es an der unterschiedlichen Artenzusammensetzung oder zum Beispiel an der unterschiedlichen Struktur?

A. Bastos: Das war eine globale Studie, das ändert sich von Region zu Region. Die meisten

Primärwälder gibt es in den Tropen und dies sind sehr dichte Wälder, in denen sich das Mikroklima sehr schnell ändert, wenn die Waldstruktur verändert wird. Es wird dann sofort trockener. Wir haben aktuell ein Paper in Vorbereitung, nach dem mit einer veränderten Landnutzung aufgrund der Klima-Vegetation-Wechselwirkungen die Dürren länger und intensiver werden. Ein zweiter Grund ist die Biodiversität. Es gibt viele Studien, die zeigen, dass diversere Ökosysteme resilienter sind, weil es in ihnen mehr Strategien zur Bewältigung der Stressoren gibt.

B. Haier: Ich habe eine Frage zum Unterholzwachstum. Der von Ihnen eingangs gezeigte Vergleich zwischen der Vegetation im Sommer und im Winter ist denke ich so groß, weil das Laub abgeworfen wird. Es gibt aber Wälder, in denen es zum Beispiel einen dichten immergrünen Buchsbaum-Unterwuchs gibt oder in denen sehr viele Farne am Boden wachsen. In diesen Wäldern herrscht ein ganz anderes Waldklima. Bei einem Umbau von Nadelholz zu Laubholz wird es im Winter noch mehr Bäume geben, die das Laub abwerfen. Können wir da im Bereich der Unterholzbewachung entgegensteuern?

A. Bastos: Dazu habe ich keine Expertise. Ich kann nur sagen, dass die Daten, die wir aus der Fernerkundung verwenden, meistens nur die Kronenfläche abbilden.

4 Xiao, C., S. Zaehle, H. Yang, J.-P. Wigneron, C. Schmullius & A. Bastos. 2023. Land cover and management effects on ecosystem resistance to drought stress. – *Earth System Dynamics*, 14: 1211–1237. DOI: [10.5194/esd-14-1211-2023](https://doi.org/10.5194/esd-14-1211-2023).